

PBLE01
Co-projeto de produtos eletrônicos

Manual
Grupo 5

Lista de Imagens

Figura 1 - Circuito esquemático geral.....	12
Figura 2 - Power flags.....	13
Figura 3 - Conexões do PIC18F4550-I/PT.....	13
Figura 4 - Circuito de reset.....	14
Figura 5 - Circuito de alimentação.....	14
Figura 6 - Circuito retificador de tensão.....	14
Figura 7 - Blocos periféricos.....	15
Figura 8 - Circuito LCD.....	15
Figura 9 - Trimpot.....	16
Figura 10 - Conversor USB-serial.....	16
Figura 11 - Cristal oscilatório do MCP2200.....	17
Figura 12 - RTC MCP7940.....	17
Figura 13 - Cristal oscilatório do microcontrolador.....	17
Figura 14 - Filtro Butterworth da modulação PWM.....	18
Figura 15 - Teclado para interação com o usuário.....	18
Figura 16 - Conexão dos LED's.....	19
Figura 17 - Chave DIP dos LED's.....	19
Figura 18 - I/O.....	20
Figura 19 - Condicionamento de sinal de entrada analógica.....	20
Figura 20 - Layout da placa de circuito impresso.....	24
Figura 21 - Visualização 3D da PCI.....	25
Figura 22 - Diagrama UML.....	27

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Ambientes e recursos de desenvolvimento.....	8
Tabela 2 - Requisitos físicos para a placa de circuito impresso.....	8
Tabela 3 - Requisitos de alimentação.....	8
Tabela 4 - Requisitos de processamento.....	9
Tabela 5 - Requisitos de interação.....	9
Tabela 6 - Requisitos de periféricos.....	9
Tabela 7 - Requisitos adicionais.....	9
Tabela 8 - Requisitos para o programa embarcado de validação.....	10
Tabela 9 - Requisitos de produção.....	10
Tabela 10 - Recursos disponíveis.....	11
Tabela 11 - Resultado da análise do esquema elétrico.....	23
Tabela 12 - Resultado da análise da PCI.....	25
Tabela 13 - Lista de Compras.....	29
Tabela 14 - Custo estimado de Compra.....	30

Lista de Equações

Equação 1: Resistência para os LED's vermelhos.....	21
Equação 2: Resistência para o LED verde.....	21
Equação 3: Leitura em B1.....	21
Equação 4: Leitura em B2.....	22
Equação 5: Leitura em B3.....	22
Equação 6: Leitura em B4.....	22
Equação 7: Ganho do Amp Op do sinal PWM.....	22
Equação 8: Frequência de Corte do Filtro.....	23

Sumário

1 Identificação.....	6
2 Introdução.....	7
3 Requisitos de Projeto.....	8
3.1 Recursos disponíveis.....	11
4 Esquema elétrico.....	12
4.1 Circuito.....	12
4.2 Esquemas elétricos de sub-circuitos.....	13
4.2.1 Sub-circuito do microcontrolador.....	13
4.2.2 Sub-circuito de alimentação.....	14
4.2.3 Sub-circuito de periféricos e interação com o usuário.....	15
4.2.4 Saídas e entradas.....	20
4.3 Memorial de cálculos.....	21
4.3.1 LED's.....	21
4.3.2 Teclado.....	21
4.3.3 Filtro Butterworth.....	22
4.4 Relatório de verificação de erros de projeto.....	23
5 Placa de circuito impresso.....	24
5.1 Desenho da placa de circuito impresso.....	24
5.2 Visão tridimensional do circuito projetado.....	25
5.3 Relatório de verificação de erros de projeto.....	25
6 Especificações elétricas.....	26
6.1 Níveis de alimentação suportados.....	26
6.2 Tensões máximas de entrada.....	26
6.3 Tensões máximas de saída.....	26
6.4 Características de comunicação.....	26
7 Programa embarcado de validação.....	27
7.1 Modelo de operação geral.....	27
7.2 Acesso às funcionalidades.....	28
8 Montagem.....	29
8.1 Lista de compras.....	29
8.2 Gravação do programa embarcado de validação.....	29
9 Análise de custos.....	30
9.1 Custos de materiais.....	30
9.2 Confecção e montagem.....	30
10 Anexos.....	31
10.1 Código-fonte do programa de validação.....	31
11 Bibliografia.....	40

1 Identificação

- Eduardo Augusto Ribeiro Dueñas - 2017011086
- Giovane Carvalho Silvério - 2020000790
- Johny Francisco da Silva - 2019015736
- Ricardo Magno do Carmo Júnior - 2019018649

2 Introdução

Este documento possui como objetivo a apresentação de forma detalhada e exemplificada dos procedimentos e escolhas tomados no desenvolvimento da placa de circuito impresso para a disciplina Co-design de Produtos Eletrônicos (PBLE01), do curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Federal de Itajubá (Unifei).

3 Requisitos de Projeto

Listados nas tabelas a seguir temos os requisitos de projeto agrupados por funcionalidade/aplicação.

Requisito	Classe	Especificação
R0	Ambientes de desenvolvimento	<ol style="list-style-type: none">1 Deverá ser utilizado ambiente de desenvolvimento KiCad, em sua versão 5.0 ou posterior, para a elaboração do esquema elétrico e do projeto da placa de circuito impresso;2 O embarcado de validação deverá ser em linguagem de programação C, sendo livre o emprego do ambiente de desenvolvimento para tanto;3 Deverá ser utilizado o ambiente de simulação PICSimLab para testar o embarcado de validação.

Tabela 1 - Ambientes e recursos de desenvolvimento

Requisito	Classe	Especificação
R1	Características físicas da placa de circuito impresso	<ol style="list-style-type: none">4 Possuir dimensão de até 8x8 cm²;5 Ser de dupla face e utilizar a face inferior somente como plano de terra;6 Possuir capacitores de supressão de tensão entre a alimentação e o sinal de terra de cada circuito integrado utilizado pelo circuito;7 Sua face superior deve possuir uma camada de texto (<i>silk</i>) na qual haja a identificação de cada componente eletroeletrônico e a identificação do grupo que a desenvolveu;8 Possuir quadro furos de fixação dispostos em seus cantos;9 Possuir identificação de todas as conexões de entrada e de saídas presentes na placa.

Tabela 2 - Requisitos físicos para a placa de circuito impresso

Requisito	Classe	Especificação
R2	Alimentação	<ol style="list-style-type: none">1 Suportar tensão de entrada na faixa de 7 a 12V em corrente contínua;2 Empregar um conector de alimentação do tipo <i>jack J4</i>;3 Empregar proteção contra tensão reversa;4 Empregar um regulador linear com saída de 5V;5 Empregar um diodo emissor de luz para sinalizar a presença de alimentação na placa.

Tabela 3 - Requisitos de alimentação

Requisito	Classe	Especificação
R3	Operação	<ol style="list-style-type: none"> 1 Empregar microcontrolador PIC18F4550 como unidade de processamento e controle; 2 Possuir uma barra de pinos compatível com o padrão de gravação <i>ICSP</i> para o microcontrolador empregado; 3 Possuir uma chave táctil para reiniciar a operação do microcontrolador.

Tabela 4 - Requisitos de processamento

Requisito	Classe	Especificação
R4	Interação com o usuário	<ol style="list-style-type: none"> 1 Possuir um teclado numérico de cinco (5) teclas confeccionado a partir de chaves tácteis; 2 Possuir um visor de 16x2 caracteres da família JHD162A, com luminosidade a ser controlada por meio de <i>trimmer</i>; 3 Possuir conjunto de, pelo menos, quatro (4) diodos emissores de luz (<i>LED</i>) a partir do qual seja possível sinalizar estados diversos de operação da unidade de processamento e controle; 4 Possuir um <i>trimpot</i> com o qual permitir a entrada de valores contínuos por parte dos usuários.

Tabela 5 - Requisitos de interação

Requisito	Classe	Especificação
R5	Periféricos e expansão	<ol style="list-style-type: none"> 1 Empregar um relógio de tempo real da família MCP7940; 2 Possuir uma barra de expansão que contemple os sinais de referência e de alimentação da placa e quatro entradas analógicas a formarem dois pares de entradas analógicas diferenciais. Tais pares devem ser condicionados de forma a se gerar níveis entre 0V e 3V a serem disponibilizados ao microcontrolador empregado; 3 Possuir uma saída analógica formada por sinal em modulação PWM; 4 Possuir uma barra de expansão de sinais que contemple os sinais de referência (terra) e de alimentação do circuito assim como os demais pinos não utilizados do microcontrolador.

Tabela 6 - Requisitos de periféricos

Requisito	Classe	Especificação
R6	Requisitos adicionais	<ol style="list-style-type: none"> 1 Empregar um conversor USB-serial da família MCP2200 para se permitir a comunicação serial com a placa desenvolvida.

Tabela 7 - Requisitos adicionais

Requisito	Classe	Especificação
R7	Embarcado de validação	<p>A operação do programa embarcado a ser desenvolvido deve ser capaz de, minimamente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Detectar e identificar o acionamento do teclado (R4.1); 2 Testar a exibição de mensagens no visor de cristal líquido (R4.2); 3 Testar a sinalização de estados por meio dos diodos de sinalização (R4.3); 4 Estipular e testar a leituras de informações de data e hora (R5.1); 5 Testar a leitura de sinais pelas entradas diferenciais (R5.2); 6 Testar a geração da saída analógica (R5.3); 7 Testar a recepção e o envio de dados pela via serial (R6); 8 Permitir a seleção do teste a realizar (R7.3 a R7.7) a partir de um menu de opções que faça uso do visor de cristal e do teclado existente.

Tabela 8 - Requisitos para o programa embarcado de validação

Requisito	Classe	Especificação
R8	Espaçamento e dimensões de trilhas e afins	<ol style="list-style-type: none"> 1 Utilização do formato de arquivos eletrônicos de fabricação <i>Gerber RS274X</i>; 2 Mínima largura para trilhas de sinais de 8 mils; 3 Mínima largura para trilhas de alimentação de 12 mils; 4 Mínimo espaçamento entre trilhas, furos e ilhas de 8 mils 5 Mínimo diâmetro de furo de vias de 12 mils; 6 Mínimo diâmetro de ilhas de vias de 25 mils; 7 Não utilizar microvias.

Tabela 9 - Requisitos de produção

3.1 Recursos disponíveis

Item	Modelo	Fornecedor
Unidade de processamento e controle	PIC18F4550-I/PT	<i>Microchip</i>
Relógio de tempo real	MCP7940N-I/SN	<i>Microchip</i>
Transceptor USB-serial	MCP2200-I/SO	<i>Microchip</i>
Resistores diversos (56, 330, 470, 100, 1k, 4k7, 9k1, 10k e 200kΩ)	Encapsulamento SMD 0805	Diversos
Capacitores cerâmicos (22 pF, 39 pF, 10 nF, 100 nF e 220 nF)	Encapsulamento SMD 0805	Diversos
Capacitores eletrolíticos	F931C106KAA	<i>AVX</i>
<i>Trimpot</i> de 10k	P160KN-0QC15B100K	<i>TT Electronics</i>
<i>Trimmer</i> de 10k	3296W-1-103RLF	<i>Bourns Inc.</i>
Barra de pinos	PPTC101LFBN-RC	<i>Sullins Connector Solutions</i>
Diodos emissores de luz	LTST-C150GKT	<i>Lite On</i>
Amplificador operacional	LM358DG / LM324DG MCP6002-I/SN / MCP6004-I/SN	<i>On Semi</i> <i>Microchip</i>
Conector USB	897-43-004-90-000000	<i>Mill-Max</i>
Chaves tátteis	1825910-6	<i>TE Connectivity</i>
Regulador de tensão	LD1117DT50TR	<i>STMicroelectronics</i>
Cristal de 32.768 kHz	AB38T-32.768KHZ	<i>ABRACON</i>
Cristal de 20 MHz	ATS20A	<i>CTS Electronic Components</i>
Conector para entradas diferenciais	OSTTA024163	<i>On Shore Technology Inc.</i>
Conector para barra de expansão	3-644456-2 (por exemplo)	<i>TE Connectivity</i>
Diodo retificador	1N4001RLG / 1N5819HW-7	<i>On Semi /</i> <i>Diodes Incorporated</i>
Visor de 16x2 pontos	JHD162A	-

Tabela 10 - Recursos disponíveis

4 Esquema elétrico

Dados os requisitos projetou-se o circuito desejado.

4.1 Circuito

Na Figura 1 temos uma visão geral do circuito implementado.

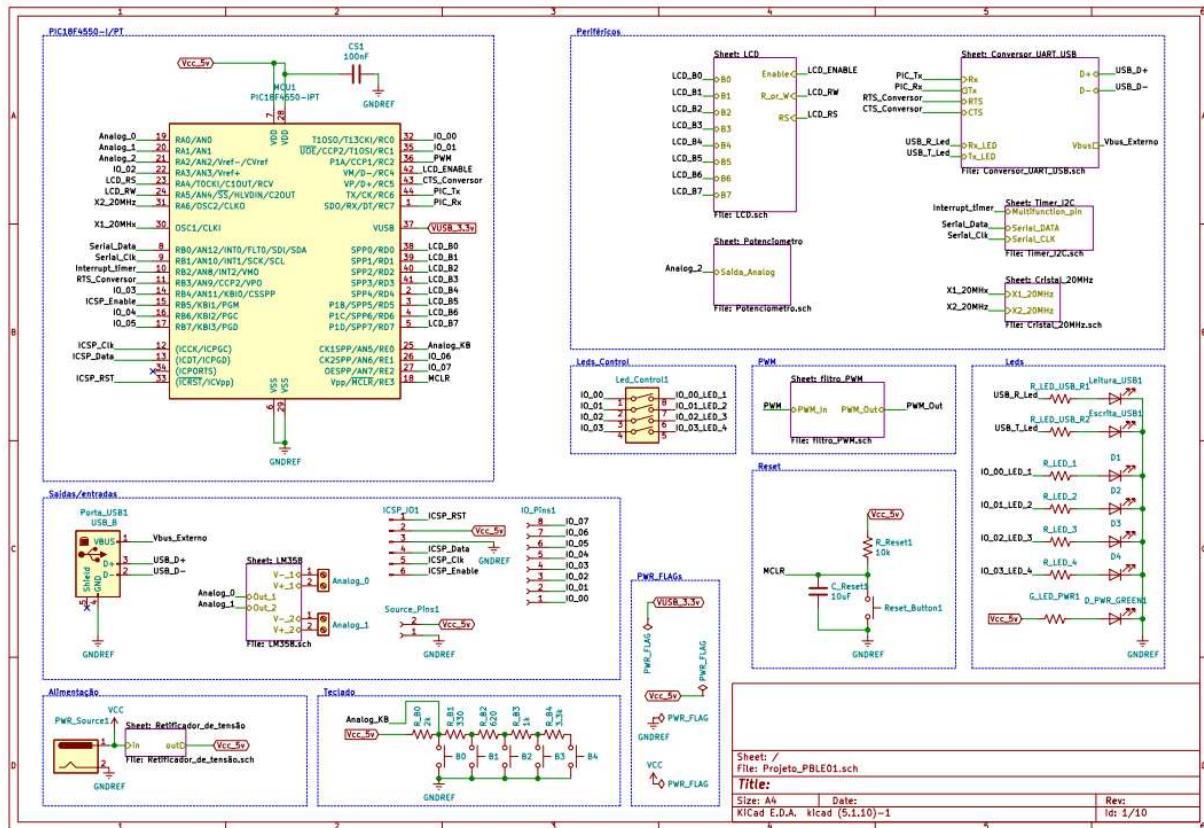


Figura 1 - Circuito esquemático geral

4.2 Esquemas elétricos de sub-circuitos

Nesta seção veremos os circuitos projetados e detalhes.

Na Figura 2 temos referência às etiquetas de alimentação.

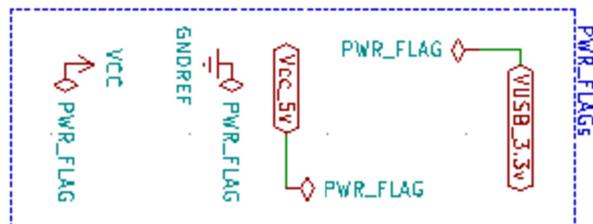


Figura 2 - Power flags

4.2.1 Sub-circuito do microcontrolador

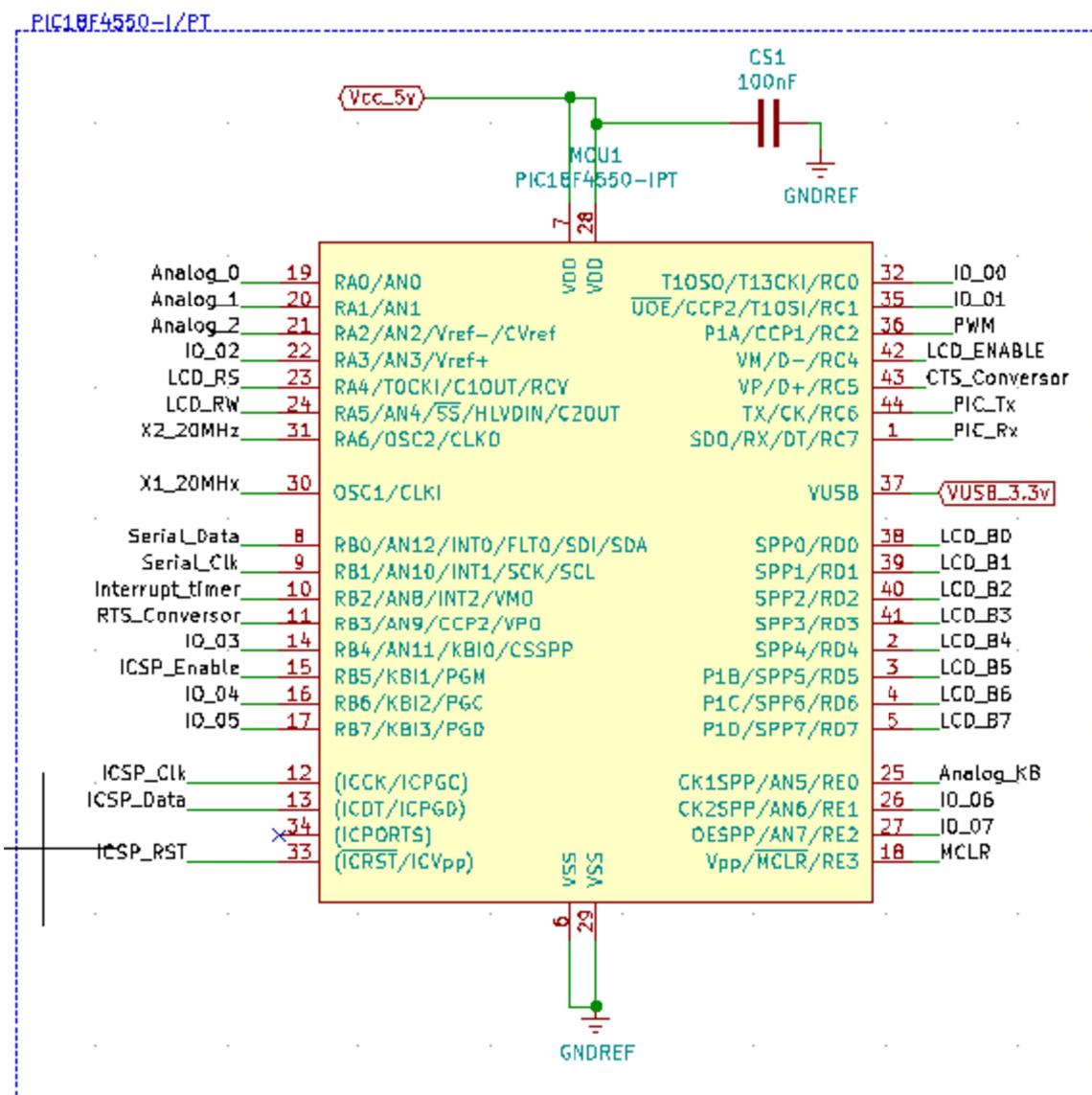


Figura 3 - Conexões do PIC18F4550-I/PT

A partir do datasheet do microcontrolador obteve-se o seguinte circuito para o botão de reinício.

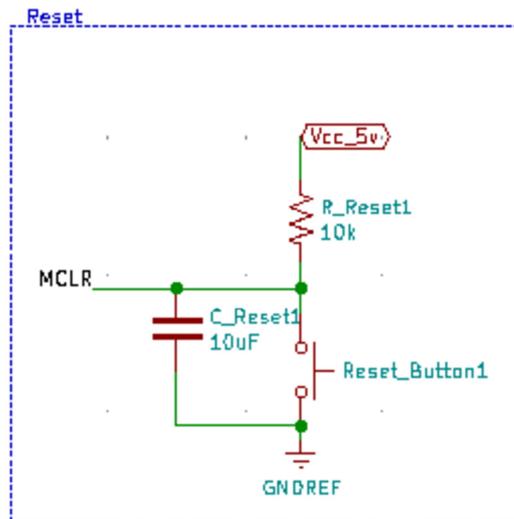


Figura 4 - Circuito de reset

4.2.2 Sub-circuito de alimentação

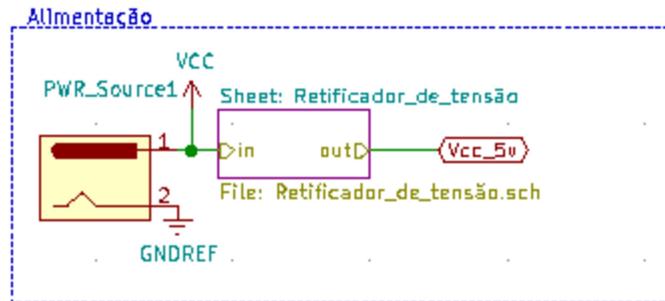


Figura 5 - Circuito de alimentação

Do datasheet do LD1117DT50TR e dos requisitos de projeto fez-se circuito retificador para a entrada do sinal de alimentação no MCU.

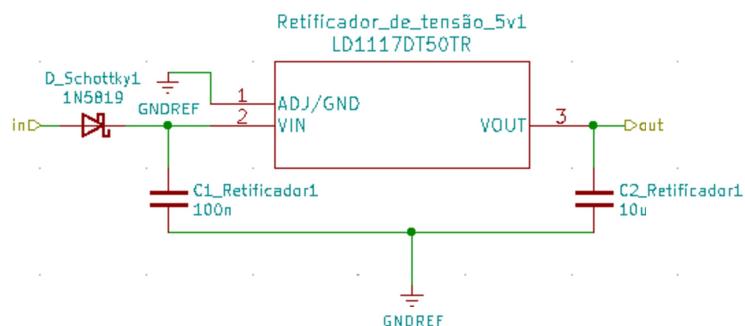


Figura 6 - Circuito retificador de tensão

4.2.3 Sub-circuito de periféricos e interação com o usuário

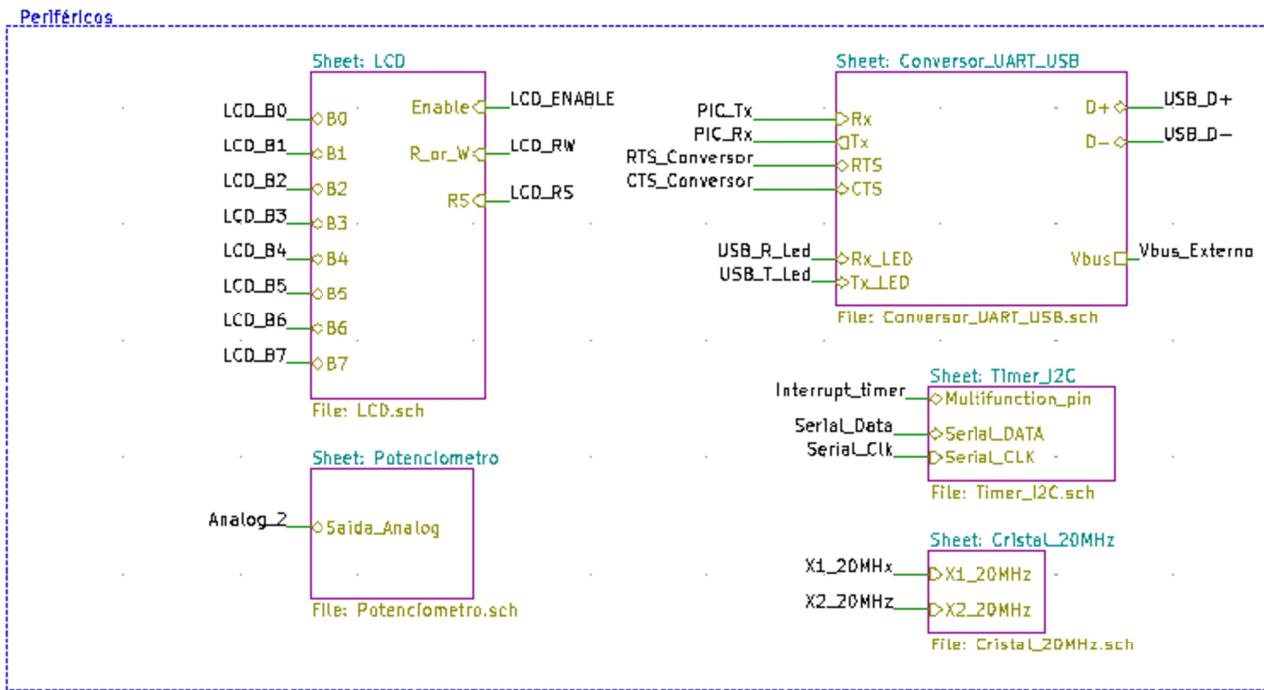


Figura 7 - Blocos periféricos

Para o LCD segue o circuito projetado. Visor de cristal líquido com luminosidade controlada por trimmer.

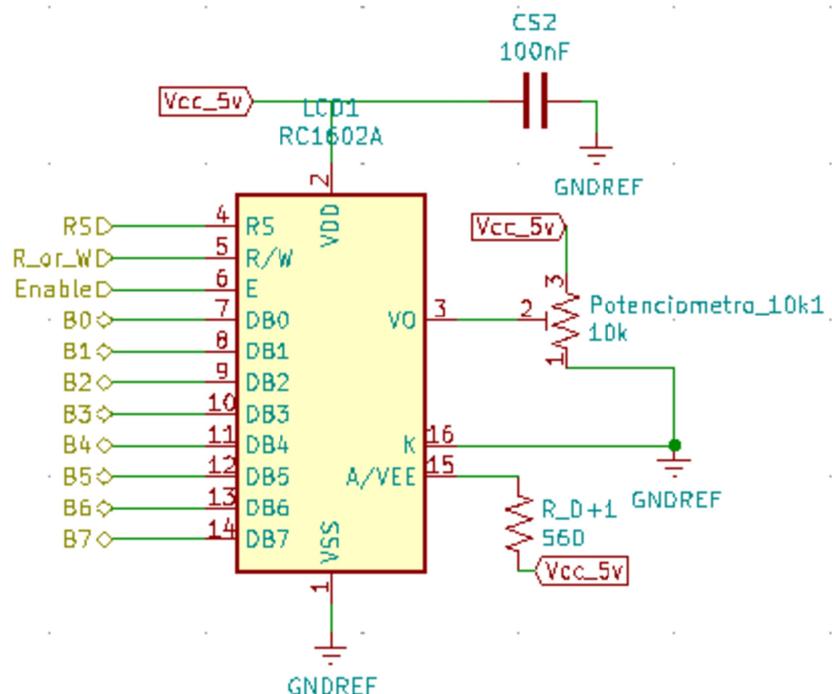


Figura 8 - Circuito LCD

Para o trimpot de interação com o usuário para entrada de valores contínuos desenvolveu-se como a seguir.

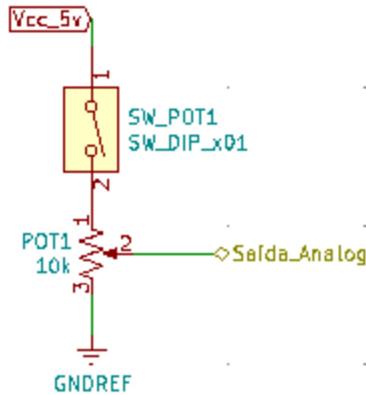


Figura 9 - Trimpot

Segue o circuito conversor USB para comunicação serial.

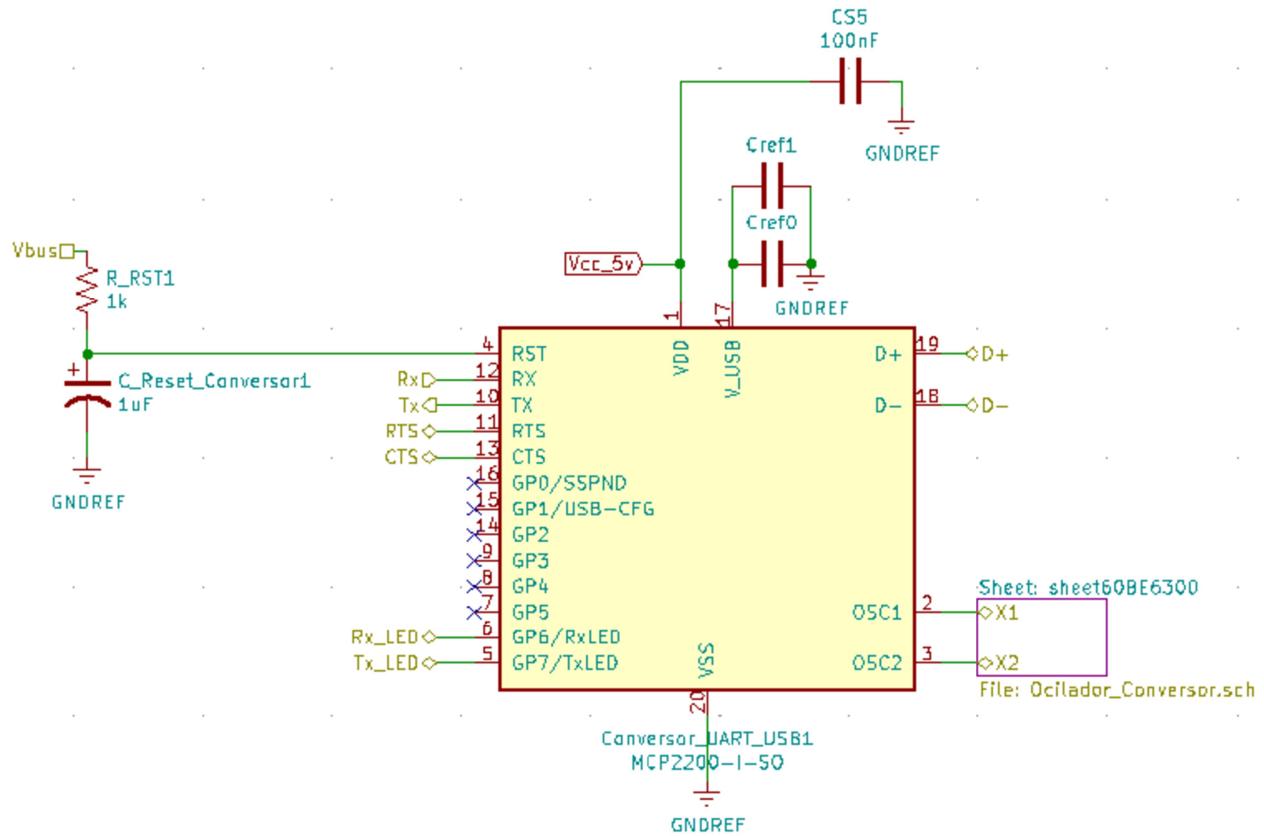


Figura 10 - Conversor USB-serial

Segue o esquema do cristal oscilatório do conversor.

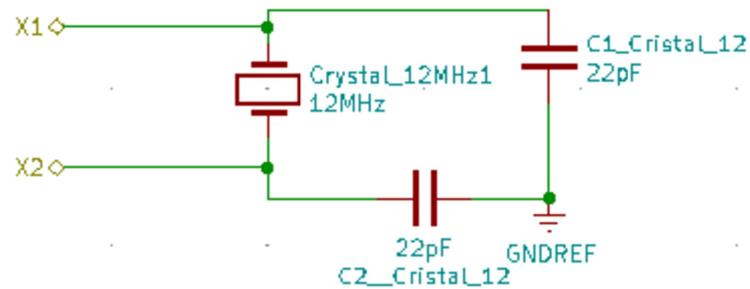


Figura 11 - Cristal oscilatório do MCP2200

Segue o esquemático do timer externo utilizado.

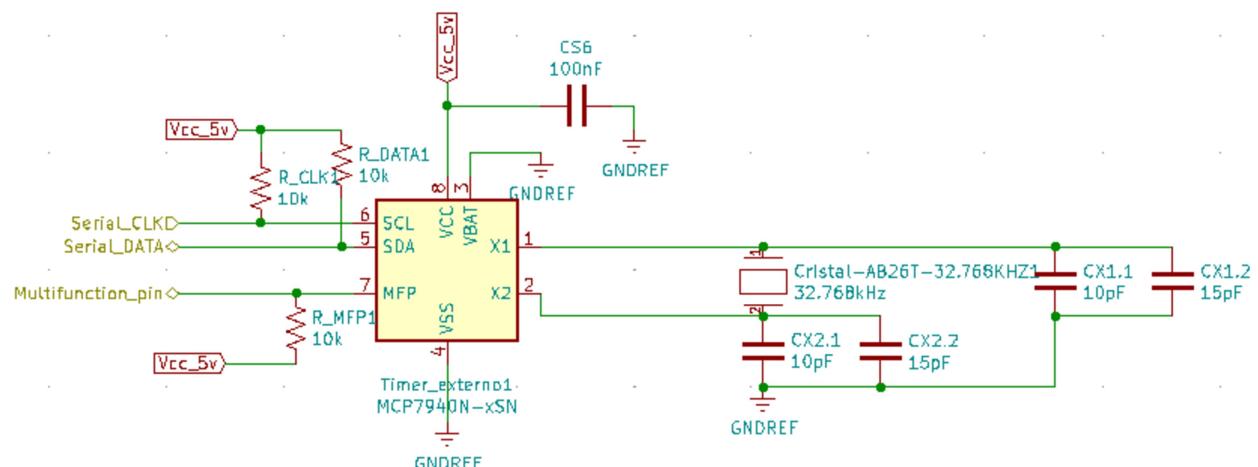


Figura 12 - RTC MCP7940

Segue o esquema do cristal oscilatório utilizado no MCU.

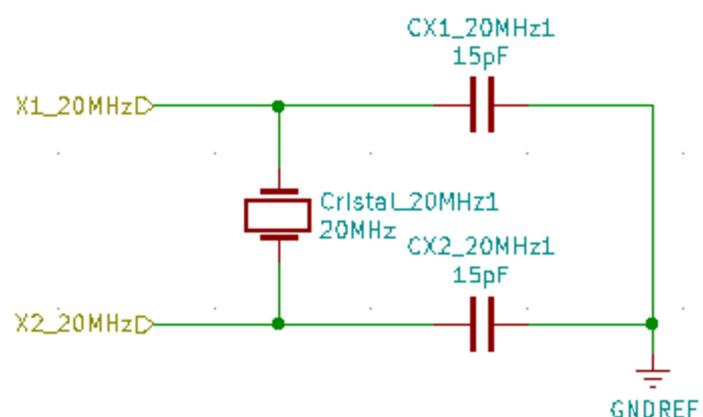


Figura 13 - Cristal oscilatório do microcontrolador

Para a saída analógica formada por um sinal em modulação PWM projetou-se um filtro na saída do MCU (pino 36).

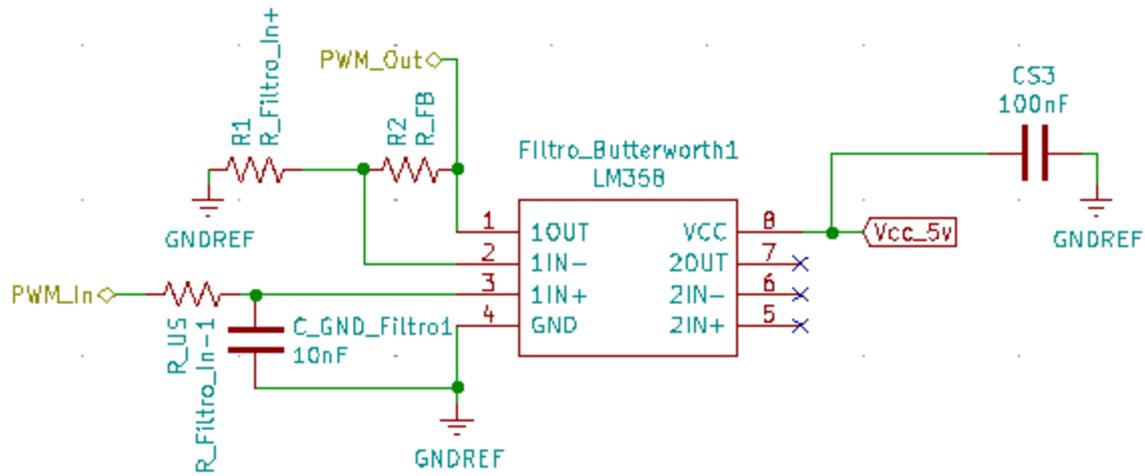


Figura 14 - Filtro Butterworth da modulação PWM

Segue o esquemático do teclado implementado.

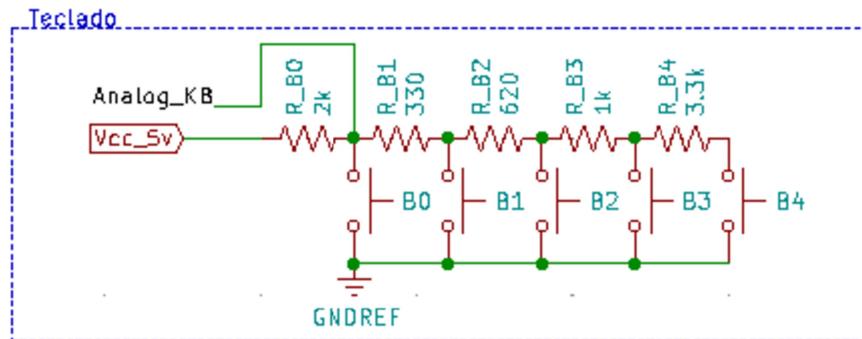


Figura 15 - Teclado para interação com o usuário

Por fim, tem-se a ligação dos LED's, os de leitura e escrita da comunicação USB, os de interação com o usuário e de sinalização de funcionamento.

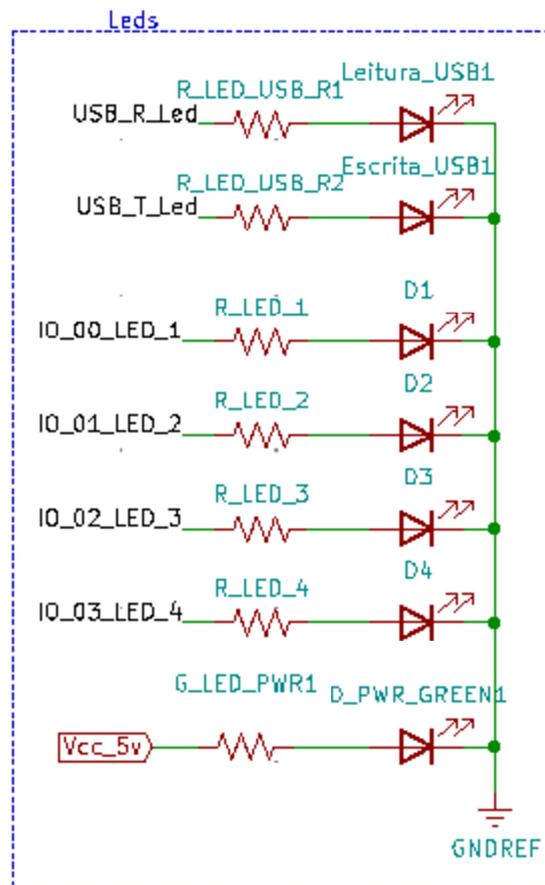


Figura 16 - Conexão dos LED's

Utilizou-se chaves DIP para controlar os LED's de interação.

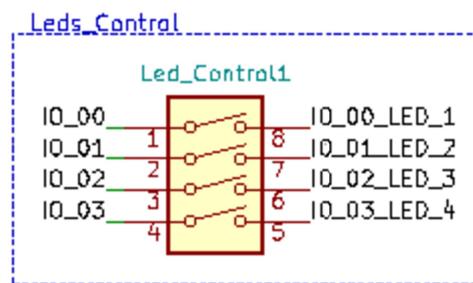


Figura 17 - Chave DIP dos LED's

4.2.4 Saídas e entradas

Nesta seção segue as entradas e saídas do circuito esquemático. Porta USB, ICSP, entradas analógicas, barramento com referência e alimentação, e barramento I/O.

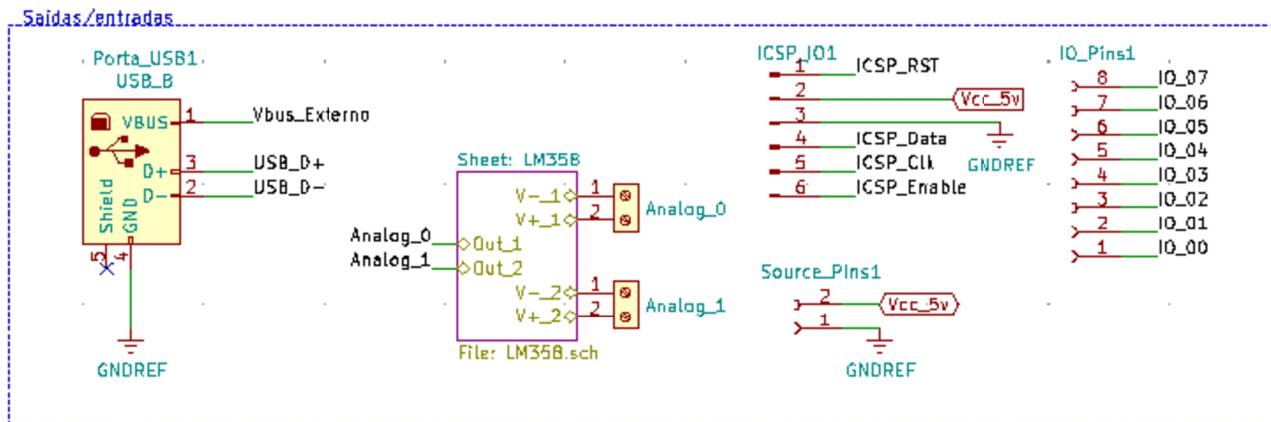


Figura 18 - I/O

Das entradas analógicas segue o circuito implementado para garantir sinais entre 0V e 3V.

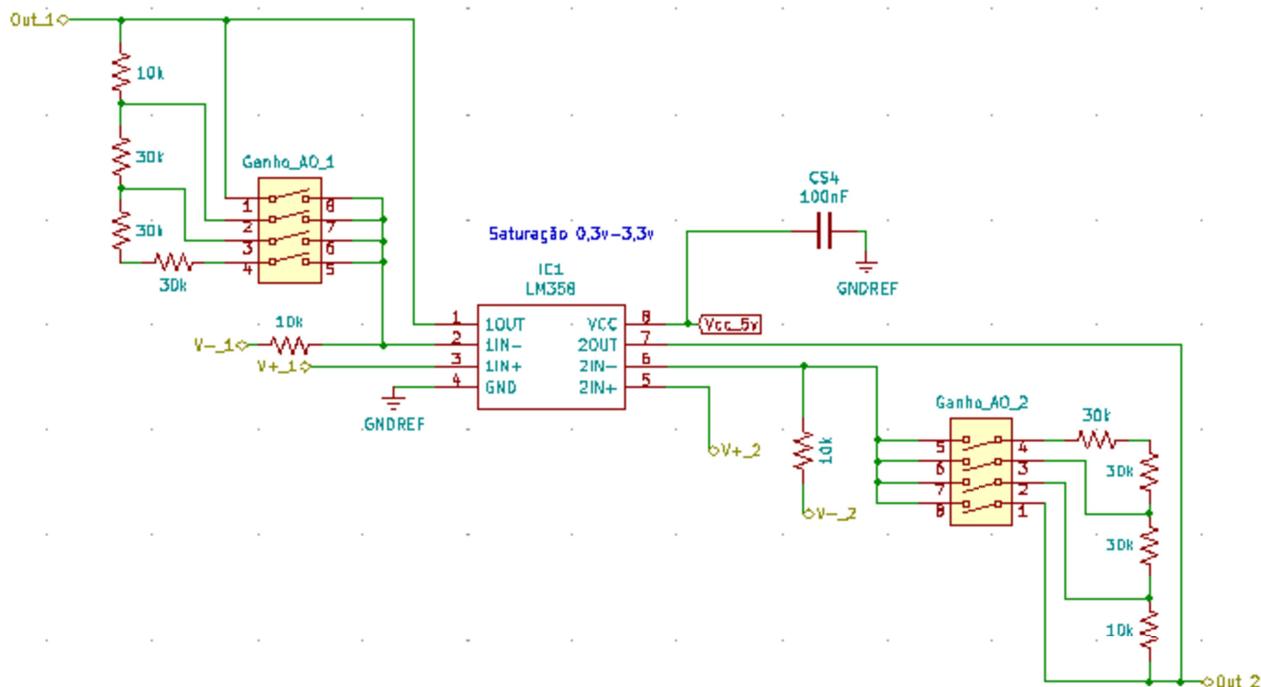


Figura 19 - Condicionamento de sinal de entrada analógica

4.3 Memorial de cálculos

4.3.1 LED's

Para o cálculo da resistência dos LED's vermelhos de interação com o usuário, leitura e escrita USB, foi obtido no datasheet “LTST-C150KRKT”, página 40, que a tensão típica e a corrente típica são, respectivamente, 2.0 V e 20mA.

$$R = \frac{5 - 2.0}{20 \text{ m}} = 150 \Omega$$

Equação 1: Resistência para os LED's vermelhos

Para o cálculo da resistência do LED verde de funcionamento, foi obtido no datasheet “LTST-C150GKT”, página 40, que a tensão típica e a corrente típica são, respectivamente, 2.1 V e 20mA. Como o valor obtido foi de 145Ω, tomamos o valor comercial mais próximo.

$$R_{LEDg} = \frac{5 - 2.1}{20 \text{ m}} \approx 150 \Omega$$

Equação 2: Resistência para o LED verde

4.3.2 Teclado

A entrada analógica lê 1024 valores. Convertendo tensão nessa faixa de valores, temos:

$$\begin{matrix} 0 \text{ V} - 0 \\ 5\text{V} - 1023 \end{matrix}$$

Então projetou-se um teclado analógico a partir de um divisor de tensão.

Pressionando **B0**, temos 5V de entrada analógica, pois são 5V da alimentação dissipando totalmente no resistor de 2kΩ, portanto da proporção dada o **valor analógico da tecla é 1023**.

Pressionando **B1**, temos:

$$V = \frac{2k}{2k + 330} * 5 \text{ V} = 4.29 \text{ V}$$

Equação 3: Leitura em B1

$$\begin{matrix} 5\text{V} - 1023 \\ 4.29\text{V} - X \end{matrix}$$

Da proporção dada o **valor analógico da tecla é 882**.

Pressionando **B2**, temos:

$$V = \frac{2k}{2k+330+620} * 5V = 3.39V$$

Equação 4: Leitura em B2

$$\begin{array}{r} 5V - 1023 \\ 3.39V - X \end{array}$$

Da proporção dada o **valor analógico da tecla é 693**.

Pressionando **B3**, temos:

$$V = \frac{2k}{2k+330+620+1k} * 5V = 2.53V$$

Equação 5: Leitura em B3

$$\begin{array}{r} 5V - 1023 \\ 2.53V - X \end{array}$$

Da proporção dada o **valor analógico da tecla é 517**.

Pressionando **B4**, temos:

$$V = \frac{2k}{2k+330+620+1k+3.3k} * 5V = 1.38V$$

Equação 6: Leitura em B4

$$\begin{array}{r} 5V - 1023 \\ 1.38V - X \end{array}$$

Da proporção dada o **valor analógico da tecla é 282**.

4.3.3 Filtro Butterworth

Para a saída PWM projetou-se um filtro Butterworth passa baixa de primeira ordem. Levando em consideração ganho unitário e em topologia não-inversora:

$$G = 1 + R1/R2 = 1$$

Equação 7: Ganho do Amp Op do sinal PWM

Assim sabe-se que $R1/R2$ tende a 0, o que implica que $R2$ é muito maior que $R1$. Toma-se então $R1 = 10\Omega$ e $R2 = 51k\Omega$.

Tomando $R = 10\text{k}\Omega$ e a f_c ideal como 1.6kHz, temos $C = 10\text{nF}$.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R C} = 1.592 \text{ kHz}$$

Equação 8: Frequência de Corte do Filtro

4.4 Relatório de verificação de erros de projeto

Após revisão do esquema elétrico os itens da tabela 11 foram identificados como erros de projeto.

Observações adicionais
Não deve ocorrer a conexão do sinal de 5V da porta USB com a alimentação da placa. O ideal é utilizá-lo apenas para retirar o MCP2200 do estado de RESET e alimentar toda a placa com o sinal de alimentação próprio (incluso o MCP2200)
O LM358 não é rail-to-rail, logo, se alimentado por 3,3V, não poderá gerar saída de 3V (vide sua folha de dados).
Deve-se considerar apenas os itens presentes na tabela “Componentes eletro-eletrônicos disponíveis”

Tabela 11 - Resultado da análise do esquema elétrico

5 Placa de circuito impresso

Com o esquema elétrico desenvolvido projetou-se a placa de circuito impresso seguindo os requisitos necessários.

5.1 Desenho da placa de circuito impresso

Fez-se o layout da PCI.

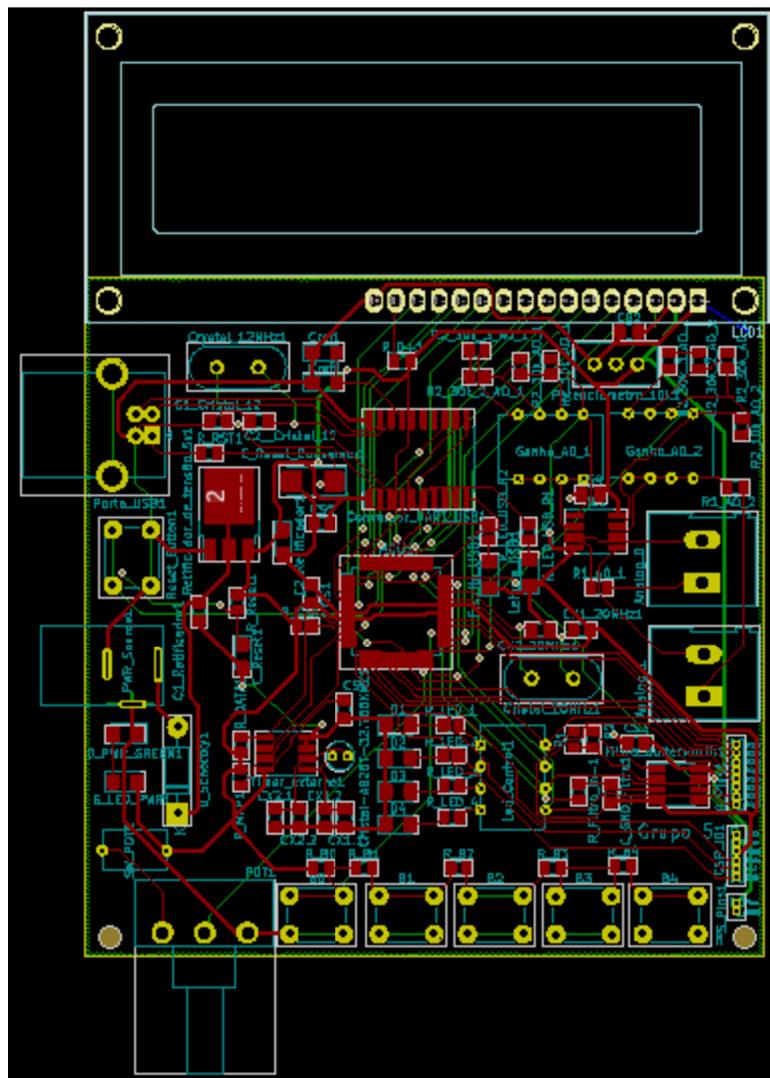


Figura 20 - Layout da placa de circuito impresso

5.2 Visão tridimensional do circuito projetado

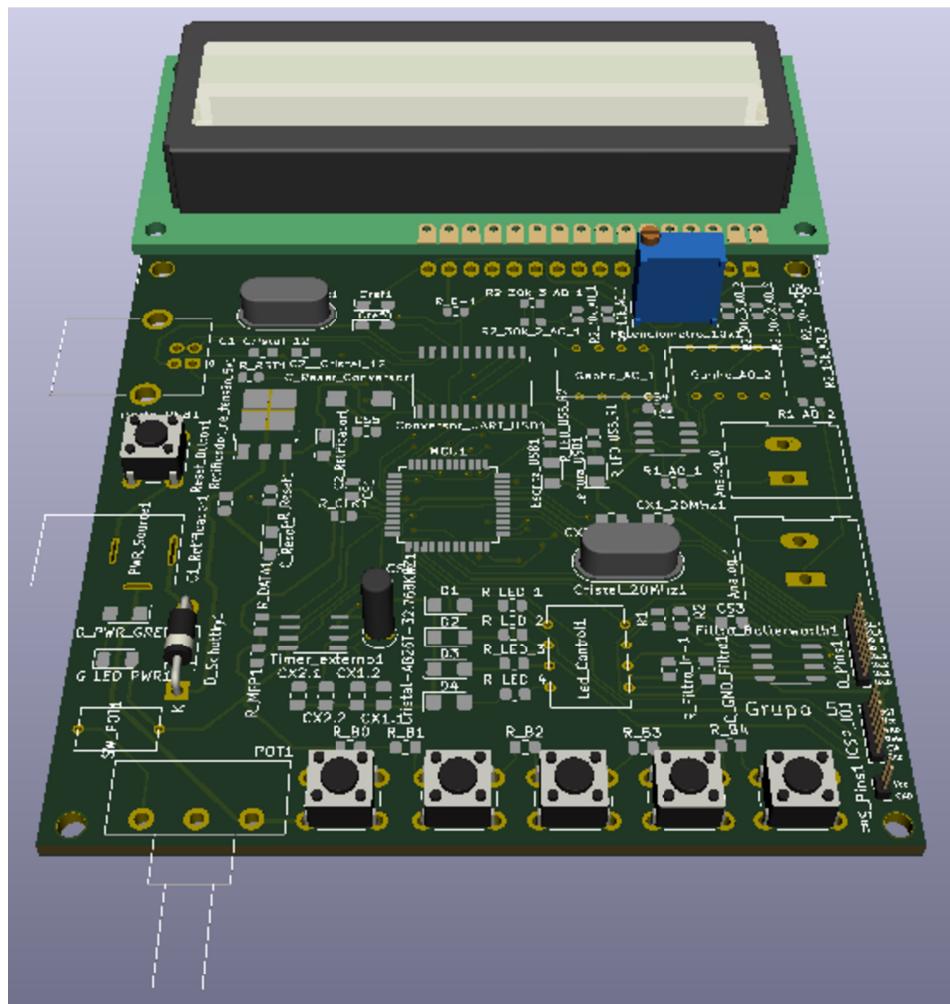


Figura 21 - Visualização 3D da PCI

5.3 Relatório de verificação de erros de projeto

Após revisão do desenho da PCI os itens da tabela 12 foram identificados como erros de projeto.

Grupo de observações
Remover os pinos de fixação da pegada do visor de LCD que estão fora da área da PCI (problema recorrente)
Conectores Analog_0, Analog_1, dentre outros, estão sem informações de polaridade/pinos específicos das entradas (R1.9)

Tabela 12 - Resultado da análise da PCI

6 Especificações elétricas

6.1 Níveis de alimentação suportados

Alimentação suportada de 7V e 15V.

6.2 Tensões máximas de entrada

Tensão máxima nas entradas analógicas de 3V.

6.3 Tensões máximas de saída

Tensão máxima nas saídas PWM de 5V.

6.4 Características de comunicação

A placa conta com uma entrada USB (comunicação USB-serial) e um barramento padrão ICSP para gravação.

7 Programa embarcado de validação

Desenvolveu-se o embarcado de validação para checagem dos componentes da placa.

7.1 Modelo de operação geral

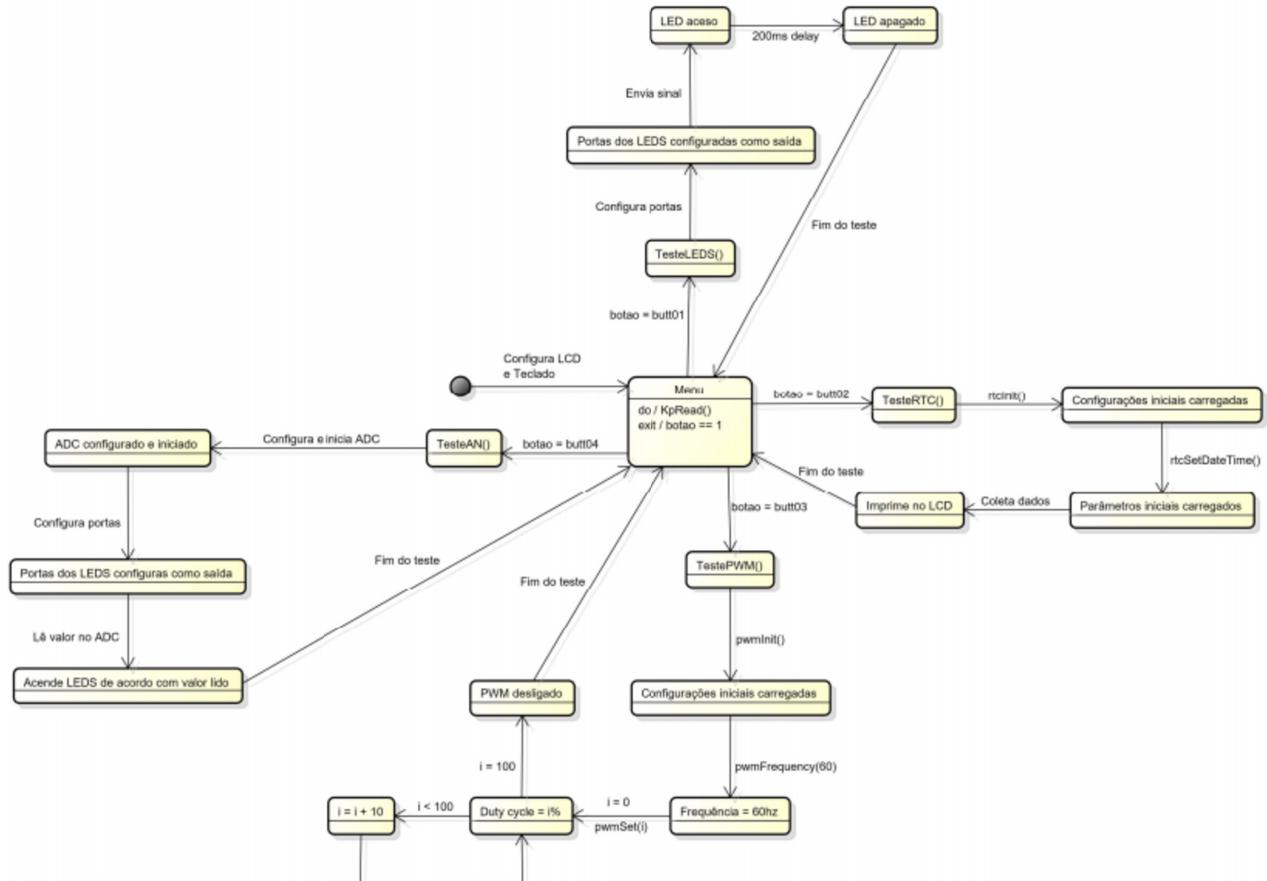


Figura 22 - Diagrama UML

7.2 Acesso às funcionalidades

Detalhamento de passos necessários para se acessar cada uma das funcionalidades do programa de validação.

Ao ligar a placa, será apresentado no display LCD um menu com informações referentes ao acesso dos testes do embarcado. Cada botão efetua um teste diferente, como descrito a seguir:

- Botão 1(B0) realiza o teste dos LEDS;
- Botão 2(B1) realiza o teste do RTC;
- Botão 3(B2) realiza o teste do PWM;
- Botão 4(B3) realiza o teste das entradas analógicas.

No teste dos LEDS, ao apertar B0, o microcontrolador enviará uma série de sinais aos LEDS, fazendo-os piscar em um padrão.

No teste do RTC, ao apertar B1, o microcontrolador irá enviar informação de data e hora iniciais e logo após, exibirá no display LCD estas informações.

No teste do PWM, ao apertar B2, o microcontrolador modulará uma onda de 60Hz de frequência que aumenta seu duty cycle em 10% em ciclos de aproximadamente 1 segundo até o máximo de 100% onde ele desligará no próximo ciclo.

No teste das entradas analógicas, ao apertar B3, o microcontrolador irá adquirir as variações de tensão fornecidas pela entrada analógica e ao converter estes valores em seu conversão analógico-digital interno, exibirá qual intervalo tensão está sendo aplicado através dos LEDS que acenderão um a um em intervalos de 0.8 [V] da entrada analógica.

Caso deseje visualizar novamente as opções de teste, basta apertar B4 que será exibido detalhadamente novamente no display LCD.

8 Montagem

8.1 Lista de compras

Referência	Quantidade	Especificação	Fornecedor
Unidade de Processamento e Controle	1	PIC18F4550-I/PT	Microchip
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	2	10pF	Diversos
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	4	15pF	Diversos
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	2	22pF	Diversos
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	1	10nF	Diversos
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	7	100nF	Diversos
Capacitor Eletrolítico F931C106KAA	1	1uF	AVX
Capacitor Eletrolítico F931C106KAA	4	10uF	AVX
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	10Ω	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	51kΩ	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	9	10kΩ	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	6	30kΩ	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	2kΩ	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	330Ω	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	620Ω	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	2	1kΩ	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	3.3kΩ	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	560Ω	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	6	100Ω	Diversos
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	200Ω	Diversos
Retificador de Tensão	1	LD1117DT50TR	STMicroelectronics
Conector p/ as Entradas Diferenciais	2	OSTTA024163	On Shore Technology Inc.
Chaves Tácteis	6	1825910-6	TE Connectivity
Trasceptor USB-Serial	1	MCP2200-I/SO	Microchip
Cristal Oscilatório	1	32.768kHz	Abracan
Cristal Oscilatório	1	20MHz	CTS Electronic Components
Cristal Oscilatório	1	12MHz	CTS Electronic Components
LED Vermelho	6	LTST-C150GKT	Lite On
LED Verde	1	LTST-C150GKT	Lite On
Diodo Schottky	1	1N5819HW-7	1N5819HW-7
Amplificador Operacional	2	LM358	ON Semiconductor
Switchs	3	4 interruptores	Diversos
Switchs	1	1 interruptores	Diversos
Barramento de Expansão	1	Macho 6 pinos	Diversos
Barramento de Expansão	1	Fêmea 8 pinos	Diversos
Barramento de Expansão	1	Fêmea 2 pinos	Diversos
LCD	1	RC1602A	Raystar Optronics
Conector USB	1	897-43-004-90-00000	Mill-Max
Trimmer 10kΩ	1	3296W-1-103RLF	Bourns Inc.
Trimpot 10kΩ	1	P160KN-0QC15B100K	TT Electronics
Conector de Energia	1	PJ-002A	CUI Devices
Relógio de Tempo Real	1	RTC MCP7940N-I/SN	Microchip

Tabela 13 - Lista de Compras

8.2 Gravação do programa embarcado de validação

A gravação do programa deve ser realizada através da IDE do Mplab X com o uso do XC8 configurado para o C99. Basta compilar e efetuar o “Make” para carregar o programa na placa.

9 Análise de custos

9.1 Custos de materiais

Referência	Quantidade	Especificação	Fornecedor	Preço Unidade	Preço Somado
Unidade de Processamento e Controle	1	PIC18F4550-I/PT	Microchip	R\$ 34,39	R\$ 34,39
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	2	10pF	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 1,06
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	4	15pF	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 2,12
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	2	22pF	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 1,06
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	1	10nF	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Capacitor de Cerâmica Encapsulado SMD 0805	7	100nF	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 3,70
Capacitor Eletrolítico F931C106KAA	1	1uF	AVX	R\$ 2,75	R\$ 2,75
Capacitor Eletrolítico F931C106KAA	4	10uF	AVX	R\$ 2,75	R\$ 11,00
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	10Ω	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	51kΩ	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	9	10kΩ	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 4,76
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	6	30kΩ	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 3,17
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	2kΩ	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	330Ω	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	620Ω	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	2	1kΩ	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 1,06
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	3,3kΩ	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	560Ω	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	6	100Ω	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 3,17
Resistor Diverso Encapsulado SMD 0805	1	200Ω	Diversos	R\$ 0,53	R\$ 0,53
Retificador de Tensão	1	LD1117DT50TR	STMicroelectronics	R\$ 3,44	R\$ 3,44
Conector p/ as Entradas Diferenciais	2	OSTTA024163	On Shore Technology Inc.	R\$ 3,86	R\$ 7,72
Chaves Tácteis	6	1825910-6	TE Connectivity	R\$ 0,63	R\$ 3,81
Traseptor USB-Serial	1	MCP2200-I/ISO	Microchip	R\$ 10,79	R\$ 10,79
Cristal Oscilatório	1	32,768kHz	Abracron	R\$ 1,64	R\$ 1,64
Cristal Oscilatório	1	20MHz	CTS Electronic Components	R\$ 1,90	R\$ 1,90
Cristal Oscilatório	1	12MHz	CTS Electronic Components	R\$ 1,90	R\$ 1,90
LED Vermelho	6	LTST-C150KRKT	Lite On	R\$ 1,85	R\$ 11,11
LED Verde	1	LTST-C150GKT	Lite On	R\$ 1,69	R\$ 1,69
Diodo Schottky	1	1N5819HW-7	1N5819HW-7	R\$ 2,38	R\$ 2,38
Amplificador Operacional	2	LM358	ON Semiconductor	R\$ 2,01	R\$ 4,02
Switchs	3	4 interruptores	Diversos	R\$ 2,70	R\$ 8,09
Switchs	1	1 interruptores	Diversos	R\$ 1,96	R\$ 1,96
Barramento de Expansão	1	Macho 6 pinos	Diversos	R\$ 2,70	R\$ 2,70
Barramento de Expansão	1	Fêmea 8 pinos	Diversos	R\$ 1,69	R\$ 1,69
Barramento de Expansão	1	Fêmea 2 pinos	Diversos	R\$ 1,69	R\$ 1,69
LCD	1	RC1602A	Raystar Optronics	R\$ 31,69	R\$ 31,69
Conector USB	1	897-43-004-90-000000	Mill-Max	R\$ 7,35	R\$ 7,35
Trimmer 10kΩ	1	3296W-1-103RLF	Bourns Inc.	R\$ 20,79	R\$ 20,79
Trimpot 10kΩ	1	P160KN-00C15B10K	TT Electronics	R\$ 3,97	R\$ 3,97
Conector de Energia	1	PJ-002A	CUI Devices	R\$ 3,12	R\$ 3,12
Relógio de Tempo Real	1	RTC MCP7940N-I/SN	Microchip	R\$ 4,02	R\$ 4,02
					Preço Estimado R\$ 210,49

Tabela 14 - Custo estimado de Compra

9.2 Confecção e montagem

Com auxílio do site PCB Brasil^[14] a confecção de 5 placas com as especificações dadas e aproximações custaria em torno de R\$ 1.396,11.

10 Anexos

10.1 Código-fonte do programa de validação

```
#include"pic18f4520.h"
#include"adc.h"
#include"lcd.h"
#include"rtc.h"
#include"pwm.h"
#include<stdlib.h>

void ZerarFlags();
void LimpaTela();
void TesteAN();
void TestePWM();
void MenuSwitch();
void TesteRTC();
void TesteLEDS();
void TesteBAS();
void RepeteMenu();
void Menu();
void KpRead();
void Delay_ms(unsigned char i);
void delayms(int t);

//Var. Globais do Teclado

unsigned char teste1[] = "B0 = Teste LEDS ";
unsigned char teste2[] = "B1 = Teste RTC ";
unsigned char teste3[] = "B2 = Teste PWM ";
unsigned char teste4[] = "B3 = Teste AN ";
unsigned char final1[] = " T1=B0 T2=B1 ";
unsigned char final2[] = " T3=B2 T4=B3 ";
unsigned char limpaum[] = " ";
unsigned char limpadois[] = " ";
unsigned char conversaoad[] = "Conversao AD ";

int read      = 0x00;
int readAD   = 0x00;

unsigned char butt01 = 0x00,
             butt02 = 0x00,
             butt03 = 0x00,
             butt04 = 0x00,
             butt05 = 0x00,
             flagAux = 0x00,
```

```

        botao = 0x00;

char      testbutt = 0x00;
char      i = 0x00;

void main() {

    lcdInit();
    Menu();

    while(1){
        while (botao == 0) {
            KpRead();
        }
        switch(botao) {
            case 01 : TesteLEDS(); break;
            case 02 : TesteRTC(); break;
            case 03 : TestePWM(); break;
            case 04 : TesteAN(); break;
            case 05 : Menu(); break;

            default : KpRead();
        }
    }
}

void TesteAN() {

    /*Testa uma entrada analógica de 0 a 3v, acendendo um LED por
vez a cada 0.8V começando pelo LED4*/
    ADCON0 = 0x01;          //seleciona o canal 0 e liga o ad
    ADCON1 = 0b00001001; //AN0 e AN5 são analogicos, a referencia
                          //é baseada na fonte
    ADCON2 = 0b10101010; //FOSC /32, Alinhamento à direita e tempo
                          //de conv = 12 TAD

    TRISA = 0xF7;
    TRISB = 0xEF;
    TRISC = 0xFC;

    /*
    0.8 x 204,8 = 163,84
    1.6 x 204,8 = 327,68
    2.4 x 204,8 = 491,52
    3.0 x 204,8 = 614,40
    */
}

```

```

volatile unsigned long l = 0; //-----
for(int j = 25; j > 0; j--){ //Aproximadamente 10 segundos
    for(l = 0; l < 6000; l++){ //-----
        readAD = adcRead();

        if (readAD < 133) {
            PORTB = 0x00;
            PORTA = 0x00;
            PORTC = 0x00;
        }
        if (readAD > 133 && readAD < 297) {
            PORTB = 0x10;
            PORTA = 0x00;
            PORTC = 0x00;
        }
        else if (readAD > 297 && readAD < 461) {
            PORTB = 0x10;
            PORTA = 0x08;
            PORTC = 0x00;
        }
        else if (readAD > 461 && readAD < 584) {
            PORTB = 0x10;
            PORTA = 0x08;
            PORTC = 0x02;
        }
        else if (readAD > 584 && readAD < 645) {
            PORTB = 0x10;
            PORTA = 0x08;
            PORTC = 0x03;
        }
    }
}
PORTB = 0x00;
PORTA = 0x00;
PORTC = 0x00;
ZerarFlags();
}

void TestePWM() {
    /*Gera uma onda crescente do duty cycle de 10 em 10% até
    um valor máximo de 100% na saída do PWM*/
    pwmInit();
    pwmFrequency(60);
}

```

```

        for(i = 0; i < 100; i=i+10){
            pwmSet(i);
            Delay_ms(1);
        }
        Delay_ms(200);
        pwmSet(0);

        ZerarFlags();
    }

void TesteRTC(){

    //Define um horário e data e exibe no visor LCD

    lcdInit();
    rtcInit();
    rtcSetDateTime();

    LimpaTela();

    lcdCommand(0xC0);
    lcdData(((rtcGetDate() / 10) % 10) + 48);
    lcdData((rtcGetDate() % 10) + 48);
    lcdData(47);
    lcdData(((rtcGetMonth() / 10) % 10) + 48);
    lcdData((rtcGetMonth() % 10) + 48);
    lcdData(47);
    lcdData(((rtcGetYear() / 10) % 10) + 48);
    lcdData((rtcGetYear() % 10) + 48);

    for(i = 0; i < 100; i++){
        lcdCommand(0x80);
        lcdData(((rtcGetHours() / 10) % 10) + 48);
        lcdData((rtcGetHours() % 10) + 48);
        lcdData(58);
        lcdData(((rtcGetMinutes() / 10) % 10) + 48);
        lcdData((rtcGetMinutes() % 10) + 48);
        lcdData(58);
        lcdData(((rtcGetSeconds() / 10) % 10) + 48);
        lcdData((rtcGetSeconds() % 10) + 48);
    }
    //}

    ZerarFlags();
    MenuSwitch();
}

```

```

void TesteLEDS() {
    /*Testa a geração de sinais nos LEDS a partir de comandos
     emitidos pelo PIC*/
    TRISA = 0xF7;
    TRISB = 0xEF;
    TRISC = 0xFC;

    PORTB = 0x10;
    Delay_ms(100);
    PORTB = 0x00;
    PORTA = 0x08;
    Delay_ms(100);
    PORTA = 0x00;
    PORTC = 0x02;
    Delay_ms(100);
    PORTC = 0x00;
    PORTC = 0x01;
    Delay_ms(100);
    PORTC = 0x00;
    Delay_ms(100);

    PORTC = 0x01;
    PORTC = 0x03;
    delayms(10);
    PORTC = 0x02;
    PORTA = 0x08;
    delayms(10);
    PORTC = 0x00;
    PORTB = 0x10;
    delayms(10);
    PORTA = 0x00;
    delayms(10);

    PORTA = 0x08;
    delayms(10);
    PORTB = 0x00;
    PORTC = 0x02;
    delayms(10);
    PORTA = 0x00;
    PORTC = 0x03;
    delayms(10);
    PORTC = 0x01;
    delayms(10);
    PORTC = 0x00;
    delayms(10);

    for(i=0; i<3; i++) {

```

```

PORTC = 0x03;
PORTA = 0x08;
PORTB = 0x10;
delayms(10);
PORTC = 0x00;
PORTA = 0x00;
PORTB = 0x00;
delayms(10);
}
ZerarFlags();
}

void MenuSwitch() {
    /*Menu onde mostra todos botões e todos testes possíveis*/
    lcdCommand(0x80);
    for (i = 0; i < 16; i++) {
        lcdData(final1[i]);
    }
    lcdCommand(0xC0);
    for (i = 0; i < 16; i++) {
        lcdData(final2[i]);
    }
}

void Menu() {
    /*Menu mostrado ao inicializar o PIC*/
    lcdCommand(0x80);
    for (i = 0; i < 16; i++) {
        lcdData(teste1[i]);
    }
    lcdCommand(0xC0);
    for (i = 0; i < 16; i++) {
        lcdData(teste2[i]);
    }
    delayms(60);
    lcdCommand(0x80);
    for (i = 0; i < 16; i++) {
        lcdData(teste3[i]);
    }
    lcdCommand(0xC0);
    for (i = 0; i < 16; i++) {
        lcdData(teste4[i]);
    }
    delayms(60);
    MenuSwitch();
}

```

```

    ZerarFlags();
}

void KpRead() {
    /*Função responsável pela leitura do teclado analógico*/
    TRISE    = 0xFF;
    //TRISB   = 0xFE;
    PORTB    = 0x00;

    ADCON0 = 0b00010101; //seleciona o canal 5 e liga o ad
    ADCON1 = 0b00001001; //AN5 é analogico, a referencia é baseada
                        //na fonte
    ADCON2 = 0b10101010; //FOSC /32, Alinhamento à direita e tempo
                        //de conv = 12 TAD

    read = adcRead();

    // --- Testa se os botões foram pressionados ---
    // Se foi pressionado, seta a respectiva flag
    if      (read > 711 && read < 771) butt05 = 0x01;
    else if (read > 485 && read < 535) butt04 = 0x01;
    else if (read > 300 && read < 360) butt03 = 0x01;
    else if (read > 134 && read < 194) butt02 = 0x01;
    else if (read < 30)                 butt01 = 0x01;

    // --- Testa se os botões foram liberados ---
    if (read > 30 && butt01)          //Botão B0 solto e flag butt01
                                        //setada?
    {
        butt01 = 0x00;                  //Limpa flag butt01
        testbutt = 1;                  //Atualiza testbutt
        bota0 = 1;                     //Seta flag auxiliar
    }
    if (read > 194 && butt02)          //Botão B1 solto e flag butt02
                                        //setada?
    {
        butt02 = 0x00;                  //Limpa flag butt02
        testbutt = 2;                  //Atualiza testbutt
        bota0 = 2;                     //Seta flag auxiliar
    }
    if (read > 360 && butt03)          //Botão B2 solto e flag butt03
                                        //setada?
    {
        butt03 = 0x00;                  //Limpa flag butt03
    }
}

```

```

        testbutt = 3;           //Atualiza testbutt
        botao = 3;
        flagAux = 0x01;         //Seta flag auxiliar
    }
    if (read > 535 && butt04) //Botão B3 solto e flag butt04
        //setada?
    {
        //Sim...
        butt04 = 0x00;         //Limpa flag butt04
        testbutt = 4;           //Atualiza testbutt
        botao = 4;
        flagAux = 0x01;         //Seta flag auxiliar
    }
    if (read > 771 && butt05) //Botão B4 solto e flag butt05
        //setada?
    {
        //Sim...
        butt05 = 0x00;         //Limpa flag butt05
        testbutt = 5;           //Atualiza testbutt
        botao = 5;
        flagAux = 0x01;         //Seta flag auxiliar
    }

/*
    Vin x 1024           Vin x 1024
ResultADC = ----- = ----- = Vin x
204.8
                                Vrefh-Vrefl           5

* Valores AD representados pelas teclas:
*
*   SW | Nome | Tensão (V) | Digital | Usado
*   -----
*   01 | B0   | 0,000 | 0 | 0~30
*   02 | B1   | 0,708 | 164 | 134~194
*   03 | B2   | 1,610 | 330 | 300~360
*   04 | B3   | 2,468 | 505 | 485~535
*   05 | B4   | 3,620 | 741 | 711~771
*/
}

void Delay_ms(unsigned char i){

    unsigned char j;
    j = 0;

    for(i = 0; i < 255; i++) {
        for(j = 0; j < 255; j++);
        for(j = 0; j < 255; j++);
    }
}

```

```

}

void delayms(int t)
{
    volatile unsigned long l = 0;
    for(int i = 0; i < t; i++)
        for(l = 0; l < 6000; l++)
    {
    }
}

void LimpaTela(){
    lcdCommand(0x80);
    for (i = 0; i < 16; i++) {
        lcdData(limpaum[i]);
    }
    lcdCommand(0xC0);
    for (i = 0; i < 16; i++) {
        lcdData(limpadois[i]);
    }
}

void ZerarFlags(){
    butt01 = 0x00;
    butt02 = 0x00;
    butt03 = 0x00;
    butt04 = 0x00;
    butt05 = 0x00;
    flagAux = 0x00;
    botao = 0x00;
}

```

11 Bibliografia

- [1] Microchip. Datasheet: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet - 28/40/44-Pin, High-Performance Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology. Publicação, 2009. Disponível: [PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet \(microchip.com\)](http://www.microchip.com)
- [2] Microchip. Datasheet: MCP7940N Data Sheet - Battery-Backed I2C Real-Time Clock/Calendar with SRAM. Publicação, 2018. Disponível: [MCP7940N Data Sheet \(microchip.com\)](http://www.microchip.com)
- [3] Microchip. Datasheet: MCP2200 Data Sheet - USB 2.0 to UART Protocol Converter with GPIO. Publicação, 2018. Disponível: [MCP2200 Data Sheet \(microchip.com\)](http://www.microchip.com)
- [4] ON Semiconductor. Datasheet: LM258, LM358, LM358A, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904 Data Sheet - Single Supply Dual Operational Amplifier. Publicação, 2006. Disponível: [FREESCALE SEMICONDUCTOR \(LM358DG\) ANALOG PWR OP AMP DUAL \(octopart.com\)](http://www.octopart.com)
- [5] Mill-Max. Datasheet: IO Sockets Data Sheet - SERIES 896, 897 • UNIVERSAL SERIAL BUS • SOCKETS. Disponível: [148-259756.pdf \(mouser.com\)](http://www.mouser.com)
- [6] STMicroelectronics. Datasheet: LD1117 Data Sheet - Adjustable and fixed low drop positive voltage regulator. Publicação, 2020. Disponível: [LD1117.fm \(mouser.com\)](http://www.mouser.com)
- [7] Abracon. Datasheet: AB38T and AB26T Data Sheet - LOW FREQUENCY, 32.768kHz CYLINDRICAL TYPE TUNING FORK CRYSTALS. Publicação, 2020. Disponível: [ABRACON Corporation \(mouser.com\)](http://www.mouser.com)
- [8] CTS. Datasheet: ATS/ATS-SM Series Data Sheet – Quartz Crystal. Disponível: [Microsoft Word - 008-0309-0_L ATS ATS-SM.doc \(mouser.com\)](http://www.mouser.com)
- [9] On Shore Technology. Datasheet: OSTTA024163 Data Sheet. Disponível: [\\OS-APP01\Public\Drawings\OST TB\EURO-2019\DWG'S\OSTTAXX4163.dwg Model \(1\) \(on-shore.com\)](http://www.mouser.com)
- [10] TE Connectivity. Datasheet: MTA-100 HEADER ASSEMBLY, NARROW, .025 SQUERE STRAIGHT POST, TIN PLATED. Disponível: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=644456&DocType=Customer+Drawing&DocLang=English&PartCtxt=3-644456-2&DocFormat=pdf](http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=644456&DocType=Customer+Drawing&DocLang=English&PartCtxt=3-644456-2&DocFormat=pdf)
- [11] Raystar Optronics. Datasheet: RC1602A Character 16x2. Disponível: [RC1602A-lcd-display-16x2-datasheet.pdf \(raystar-optronics.com\)](http://www.mouser.com)
- [12] Lite-On. Datasheet: LTST-C150GKT Data Sheet. Disponível: [https://br.mouser.com/datasheet/2/239/Lite-On-LTST-C150GKT-1175255.pdf](http://www.mouser.com)
- [13] Lite-On. Datasheet: LTST-C150KRKT Data Sheet. Disponível: [LTST-C150KRKT \(mouser.com\)](http://www.mouser.com)
- [14] Cotação Online, PCB Brasil, 2021. Acessado em: 09/08/2021. [Online]. Disponível: [PCB Brasil - Circuitos Impressos](http://www.mouser.com)